

Antena Mikrostrip *Array* 8x2 Elemen untuk Aplikasi Radio Gelombang Mikro

SYAH ALAM¹, INDRA SURJATI², LYDIA SARI³, JUSTIN TANUWIJAYA⁴

^{1,4}Jurusan Teknik Elektro Universitas Trisakti, Indonesia

^{2,3}Magister Teknik Elektro Universitas Trisakti, Indonesia

Email: syah.alam@trisakti.ac.id

Received 17 Agustus 2020 | *Revised* 13 September 2020 | *Accepted* 27 Oktober 2020

ABSTRAK

Peningkatan gain pada antena mikrostrip polarisasi melingkar menggunakan metode array 8x2 element diusulkan dalam penelitian ini. Antena yang diusulkan dirancang untuk bekerja pada rentang frekuensi 10700 – 11700 MHz untuk sistem komunikasi radio gelombang mikro. Untuk meningkatkan gain, antena yang diusulkan di optimasi menggunakan array dengan 8x2 elemen. Dari hasil pengukuran diperoleh nilai return loss -22.77 dB dan VSWR sebesar 1.156. Bandwidth yang dihasilkan dari antena array 8x2 elemen adalah 900 MHz dengan rentang frekuensi kerja 10700 MHz -11600 MHz serta impedansi sebesar $55.87 + j 4.97 \Omega$ pada frekuensi kerja 10925 GHz. Gain dari antena array 8x2 elemen adalah 15.6 dB pada frekuensi kerja 10925 MHz. Optimasi dengan metode array 8x2 elemen berhasil meningkatkan Gain sampai dengan 47.76 % dibandingkan dengan desain array 4x2 element. Antena yang diusulkan cocok dijadikan kandidat untuk digunakan pada sistem komunikasi radio gelombang mikro.

Kata kunci: antena, mikrostrip, gain, array, radio gelombang mikro

ABSTRACT

Gain optimization on a circular polarization microstrip antenna using the 8x2 element array method is proposed in this study. The proposed antenna is designed to work in the frequency range 10700 - 11700 MHz for microwave radio communication systems. To increase the gain, the proposed antenna is optimized using an array with 8x2 elements. From the measurement results obtained return value of -22.77 dB and VSWR of 1,156. The Bandwidth produced from the 8x2 element antenna array is 900 MHz with a working frequency range of 10700 MHz - 11600 MHz and an impedance of $55.87 + j 4.97 \Omega$ at a working frequency of 10925 MHz. The gain of the 8x2 element array antenna is 15.6 dB at a working frequency of 10925 MHz. Optimization with the 8x2 element array method succeeded in increasing Gain by up to 47.76% compared to the 4x2 element array design. The proposed antenna is suitable as a candidate for use in microwave radio communication systems.

Keywords: microstrip, antenna, gain, array, microwave radio

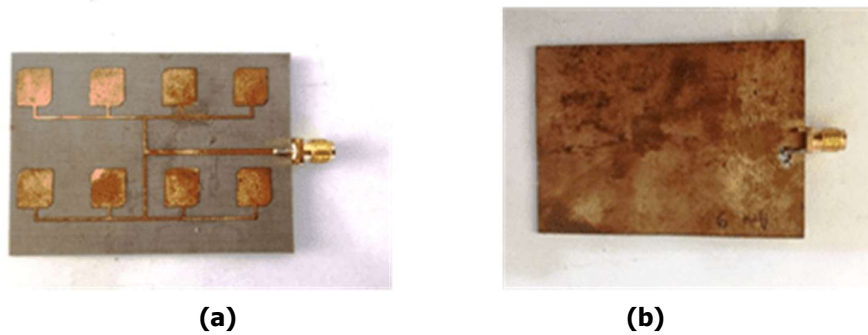
1. PENDAHULUAN

Sistem komunikasi gelombang mikro telah banyak dikembangkan dan digunakan untuk keperluan komunikasi satelit (**Ranjan, P. , dkk, 2019**). Berdasarkan regulasi yang ditetapkan oleh (**Hasyim, 2016**) frekuensi kerja dari sistem komunikasi radio gelombang mikro adalah 11 GHz dengan rentang frekuensi kerja 10700 MHz – 11700 MHz. Sistem komunikasi radio gelombang mikro memerlukan antena dengan *gain* yang tinggi agar komunikasi antara radio pemancar dan penerima berlangsung dengan baik. Pada umumnya, antena yang digunakan pada sistem komunikasi radio gelombang mikro memiliki polarisasi *vertical dan horizontal*. Hal ini menyebabkan sering terjadi *overlapping* sinyal yang di terima karena adanya *cross polarization* antara kedua polarisasi yang digunakan sehingga sistem komunikasi terputus. Untuk itu diperlukan antena yang memiliki polarisasi melingkar sehingga dapat mencegah terjadinya hal tersebut. Penggunaan antena mikrostrip untuk sistem komunikasi radio gelombang mikro telah dipaparkan pada beberapa penelitian sebelumnya (**Miguel-Hernández, & J. D. , Hoyland, R. J. , 2019**), (**González, S. R. M., & Márquez, R. T. R., 2019**), (**Gotra, S., dkk , 2016**). Keuntungan dari antena mikrostrip adalah desain yang kompak serta *low cost*, tetapi antena mikrostrip memiliki beberapa kerugian antara lain *bandwidth* yang sempit dan *gain* yang rendah (**Fang, 2017**), (**Lee, K. F., dkk, 2017**). Berdasarkan penelitian sebelumnya, peningkatan *gain* dari antena mikrostrip dapat didapatkan menggunakan beberapa teknik antara lain *parasitic* (**Santiko, A. B., Paramayudha, K., Wahyu, Y., & Wijanto, H., 2016**), (**Ding, K., dkk, 2017**), *array* (**Zhao, X., dkk, 2017**), (**Asaadi, M., & Sebak, A., 2017**) dan penambahan *slot* (**Chen, Q., dkk, 2018**), (**Bakhtiari, A., dkk , 2018**). Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (**Surjati, I., dkk, 2019**) mengusulkan desain antena mikrostrip *truncated corner* dengan *array* 1x2 elemen yang menghasilkan *gain* sebesar 8.12 dB pada frekuensi 10850 MHz. Selanjutnya pada penelitian yang diusulkan oleh (**Alam, S., dkk, 2019**) telah berhasil dirancang optimasi antena mikrostrip polarisasi melingkar menggunakan *array* 4x2 elemen dengan *gain* sebesar 10.56 dB pada frekuensi 10850 MHz. Akan tetapi, *gain* yang dihasilkan dari penelitian sebelumnya belum optimal sehingga perlu dilakukan optimasi. Pada umumnya antena yang digunakan untuk komunikasi radio gelombang mikro menggunakan jenis antena *parabolic* dengan *gain* pada rentangan 15-30 dBi dengan lebar berkas sudut pancaran 5°-15° (**System, 2020**). Penelitian ini mengusulkan optimasi dari penelitian sebelumnya dengan mengoptimasi antena mikrostrip menggunakan *array* 8x2 elemen. Tujuan penambahan jumlah elemen untuk menghasilkan *gain* yang sesuai dengan standar kebutuhan dari sistem komunikasi gelombang mikro. Kelebihan dari antena yang diusulkan adalah memiliki desain yang kompak dan biaya pabrikasi yang terjangkau jika dibandingkan dengan antena *parabolic* yang biasa digunakan untuk komunikasi radio gelombang mikro. Selain itu, antena yang dirancang juga menghasilkan polarisasi melingkar dengan *axial ratio* ≤ 3 dB pada rentang frekuensi kerja 10700 MHz.

2. DESAIN ANTENA

2.1 Desain Antena dari Penelitian Sebelumnya

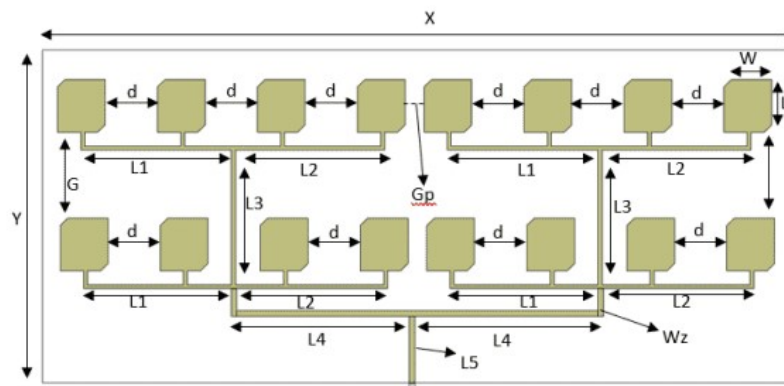
Pada penelitian sebelumnya, antena yang dirancang menggunakan metode *array* 4x2 elemen berhasil dipabrikasi dan diukur performansinya (**Alam, S., dkk , 2019**). Hasil pabrikasi dari antena yang telah dirancang sebelumnya ditunjukkan pada Gambar 1 .



Gambar 1. Hasil Pabrikasi Antena Mikrostrip *Array* 4x2 Elemen (a) Tampak Depan; (b) Tampak Belakang (Alam, S., dkk, 2019)

2.2 Desain Antena *Array* 8x2 Elemen

Permodelan yang diusulkan dalam penelitian ini adalah *array* 8x2 elemen yang disusun secara horizontal (*plannar array*). Adapun desain dari antena *array* 8x2 elemen ditunjukkan pada Gambar 2 dan Tabel 1 menunjukkan dimensi dari antena yang diusulkan.



Gambar 2. Permodelan Antena dengan *Array* 8x2 Elemen

Tabel 1. Dimensi Antena *Truncated Corner* dengan *Array* 8x2 Elemen

Parameter	Dimensi	Parameter	Dimensi
X	135 mm	L2	26.8 mm
Y	60 mm	L3	29 mm
W	7.2 mm	L4	32 mm
L	8.1 mm	L5	12 mm
Wz	0.7 mm	Gp	3.4 mm
L1	27.1 mm	d	9.4 mm
G	15.6 mm	Δl	1.9 mm

Gambar 1 menunjukkan desain antena yang telah di optimasi dengan menambahkan 8 elemen yang dikoneksikan menggunakan saluran mikrostrip dengan impedansi 100 Ω dan 50 Ω . Dimensi dari elemen dan potongan tepi pada antena mikrostrip telah dipaparkan dan

dikembangkan pada penelitian sebelumnya (Alam, S., dkk, 2019), (Surjati, I., dkk, 2019). Tabel 1 menunjukkan dimensi dari permodelan antenna menggunakan *array* 8x2 elemen dengan jarak antar elemen $d = 9.4 \text{ mm}$, $G = 15.6 \text{ mm}$ dan $G_p = 3.4 \text{ mm}$. Dimensi dari jarak antar elemen dan saluran pencatu L1 , L2, L3, L4 , L5 , L6 dan L7 diperoleh dari hasil optimasi dan simulasi menggunakan perangkat lunak *AWR Microwave Office*.

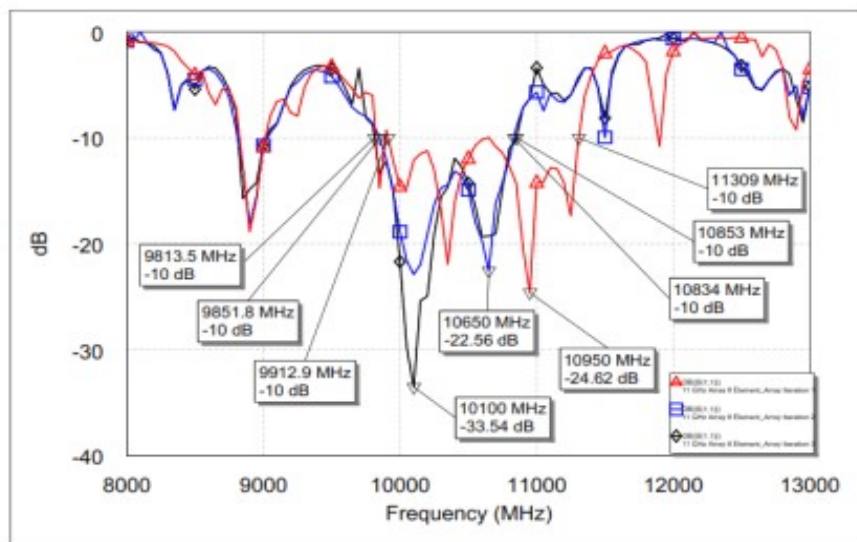
2.3 Studi Parameter

Desain antenna yang dihasilkan selanjutnya disimulasikan menggunakan *AWR Microwave Office* untuk melihat kinerja dari parameter *return loss*, *VSWR* , *bandwidth* dan *axial ratio* . Untuk mendapatkan hasil terbaik dari simulasi terhadap parameter antenna maka dilakukan beberapa tahapan iterasi dengan merubah dan mengontrol dimensi dari X, Y, L4, L5 dan G_p . Tahapan iterasi yang dilakukan ditunjukkan pada Tabel 2.

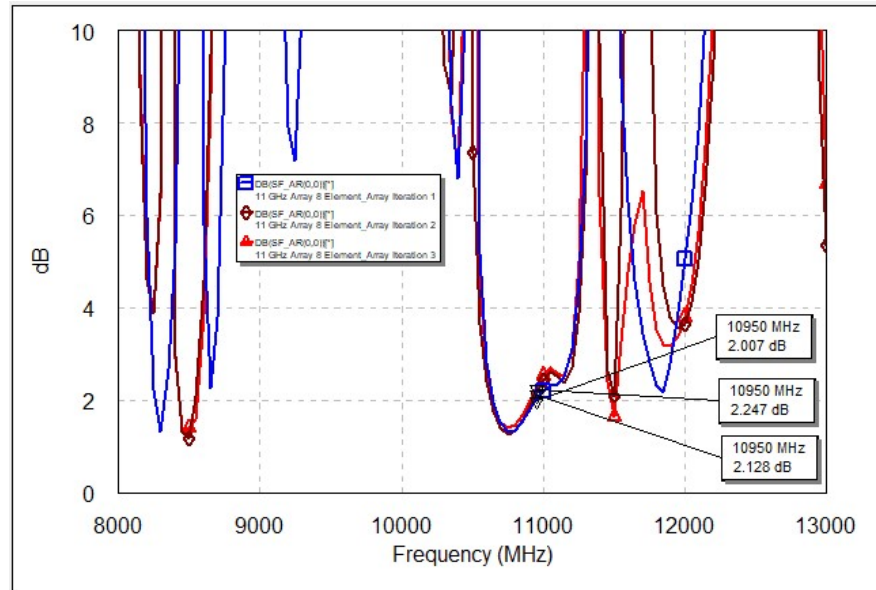
Tabel 2. Iterasi Desain Antena Planar *Array* 8x2 Elemen

Kondisi	Dimensi				
	X	Y	L3	L4	Gp
Iterasi 1	135 mm	60 mm	29 mm	32 mm	3.4 mm
Iterasi 2	135 mm	56 mm	30 mm	34 mm	7.4 mm
Iterasi 3	135 mm	60 mm	30 mm	34 mm	7.4 mm

Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi yang didapatkan dari proses iterasi yang dilakukan. Parameter yang di amati dan disimulasikan adalah *return loss* dan *axial ratio* . Keseluruhan hasil yang diperoleh dari proses simulasi dan iterasi ditampilkan pada Tabel 3.



Gambar 3. Hasil Simulasi *Return loss* dari Proses Iterasi Antena *Array* 8x2 Elemen



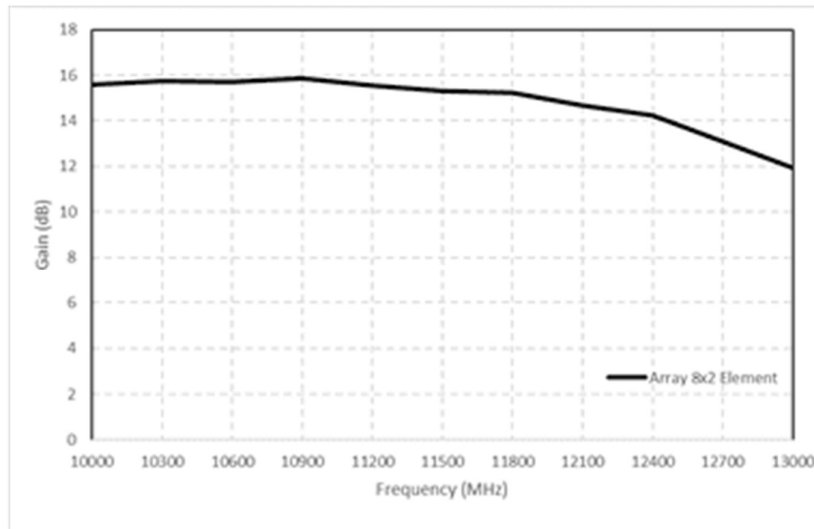
Gambar 4. Hasil Simulasi *Axial Ratio* dari Proses Iterasi Antena *Array* 8x2 Elemen

Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi dari proses iterasi yang dilakukan. Hasil simulasi terbaik diperoleh pada iterasi 1 dengan *return loss* -24.62 dB, VSWR 1.125 dan *bandwidth* 1397 MHz (9912 MHz – 11309 MHz) dengan frekuensi kerja 10950 MHz. Antena yang diusulkan juga telah menghasilkan polarisasi melingkar dengan *axial ratio* 2.007 dB pada frekuensi kerja 10700 MHz seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Perubahan dimensi saluran pencatu mempengaruhi parameter dan frekuensi kerja dari antena yang diusulkan. Keseluruhan hasil simulasi dari proses iterasi ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Iterasi Desain Antena Planar *Array* 8x2 Elemen

Kondisi	Parameters				
	<i>Return loss</i>	VSWR	<i>Bandwidth</i>	<i>Axial Ratio</i>	Frequency
Iterasi 1	-24.62 dB	1.125	1397 MHz	2.007 dB	10950 MHz
Iterasi 2	-20.56 dB	1.251	1021 MHz	2.128 dB	10700 MHz
Iterasi 3	-22.56 dB	1.161	983 MHz	2.247 dB	10650 MHz

Tabel 3 menunjukkan bahwa pada iterasi 1 dan iterasi 3 terjadi pergeseran frekuensi kerja menjadi 10950 MHz dan 10650 MHz. Selain itu, *bandwidth* dan *axial Ratio* dari antena yang diusulkan juga mengalami perubahan. Hal ini dikarenakan adanya perubahan distribusi arus yang mengalir pada *patch* antena. Simulasi terbaik didapatkan pada iterasi ke 1 dengan frekuensi kerja 10950 MHz. Setelah melakukan proses simulasi terhadap parameter *return loss*, VSWR dan *axial ratio* dari kedua permodelan antena, selanjutnya dilakukan simulasi *gain* dari antena yang diusulkan. Adapun *gain* dari antena yang diusulkan ditunjukkan melalui Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Simulasi *Gain* dari Antena *Array 8x2 Elemen*

3. REALISASI DAN PENGUKURAN ANTENA

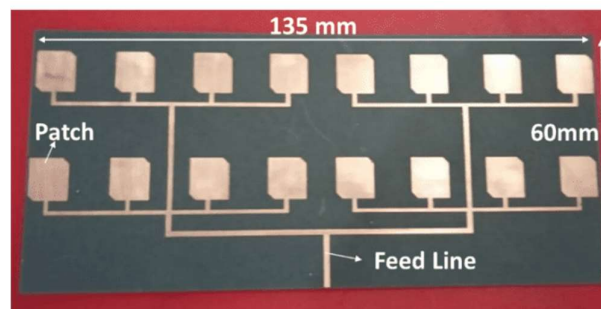
3.1 Realisasi Antena

Pada penelitian ini, antena yang diusulkan dipabrikasi menggunakan jenis substrat Arlon LX 217 CuClad dengan spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi Substrat Jenis Arlon LX 217 CuClad

No.	Parameter	Nilai
1.	Konstanta Dielektrik (ϵ_r)	2.2
2.	Ketebalan (h)	0.787 mm
3.	Rugi-rugi Dielektrik / Loss Tan ($\tan \alpha$)	0.0009
4.	<i>Cooper Cladding</i>	1 Oz, 35 mm
5.	Volume <i>Resistivity</i>	$2.3 \times 10^{-8} \text{ M}\Omega/\text{cm}$

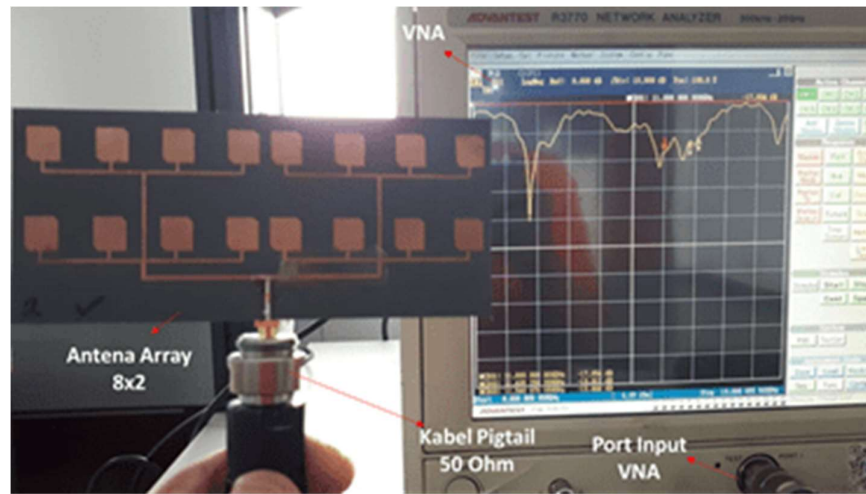
Jenis konektor yang digunakan adalah RP-SMA jenis *female* yang terhubung dengan *patch* antena melalui saluran pencatu *microstrip line*. Konektor dihubungkan dengan cara di *solder* menggunakan timah. Inti konektor dihubungkan dengan saluran *microstrip line* sedangkan *body* dari konektor terhubung dengan *ground plane* yang berada di bagian belakang *patch* antena. Hasil pabrikasi dari antena *array 8x2 elemen* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Pabrikasi Antena *Array 8x2 Elemen*

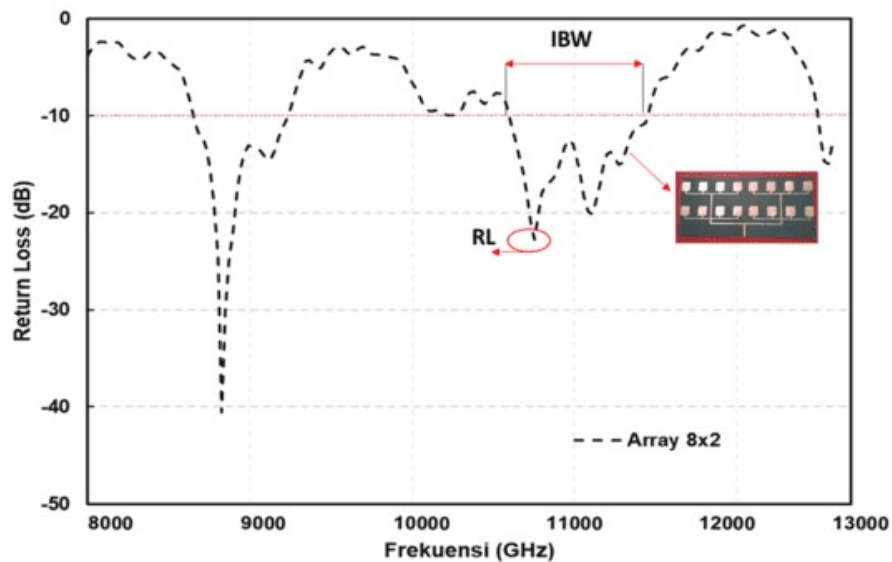
3.2 Pengukuran Antena

Setelah melakukan proses perancangan dan pabrikan, tahapan selanjutnya adalah melakukan proses pengukuran dari antena yang diusulkan. Proses pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur *Vector Network Analyzer* (VNA) *Advantest R3770*. Pengukuran dilakukan di Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) LIPI Bandung. Parameter yang diukur adalah *return loss* (koefisien refleksi), *VSWR* dan impedansi. Proses pengukuran antena ditunjukkan pada Gambar 7.

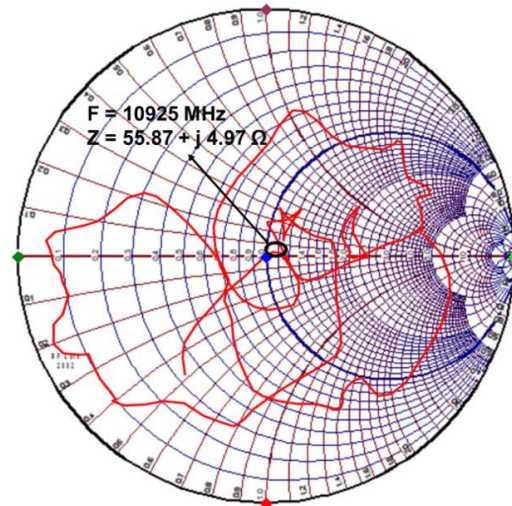


Gambar 7. Proses Pengukuran Antena *Array* 8x2 Elemen

Proses pengukuran dilakukan dengan menghubungkan antena yang dirancang menggunakan kabel *pigtail* ke port VNA yang menggunakan konektor *N Female*. Hasil pengukuran dari parameter *return loss* (koefisien refleksi), *VSWR* dan impedansi ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.

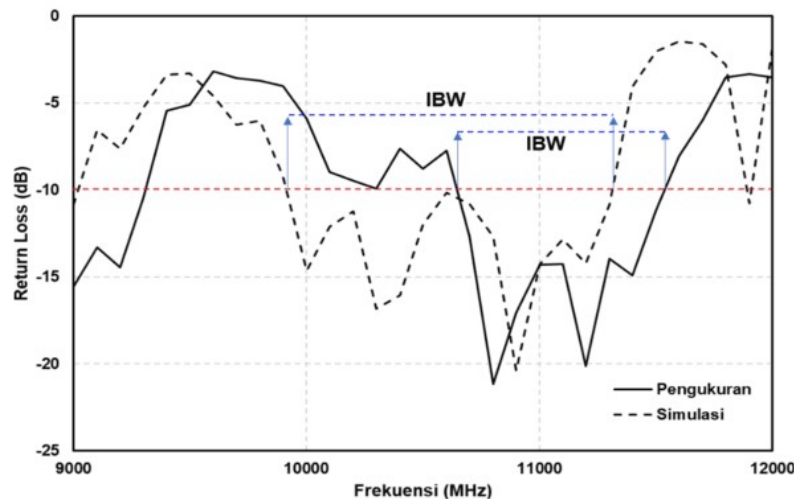


Gambar 8. Hasil Pengukuran *Return loss*



Gambar 9. Hasil Pengukuran Impedansi

Hasil pengukuran *return loss* pada antenna *array* 8x2 elemen ditunjukkan pada Gambar 8. Dari proses pengukuran didapatkan bahwa antenna *array* 8x2 elemen bekerja pada frekuensi 10925 MHz dengan nilai *return loss* -22.77 dB dan VSWR sebesar 1.156. *Bandwidth* yang dihasilkan dari antenna *array* 8x2 elemen adalah 900 MHz dengan rentang frekuensi kerja 10700 MHz – 11600 MHz. Batasan nilai *return loss* yang ditetapkan adalah ≤ -10 dB dan $VSWR \leq 2$. Impedansi dari antenna *array* 8x2 elemen adalah $55.87 + j 4.97 \Omega$ pada frekuensi kerja 10925 MHz seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9, yang artinya mendekati nilai impedansi ideal yaitu $50 \pm j0\Omega$. Dari hasil pengukuran terhadap kedua antenna dapat disimpulkan bahwa antenna yang dirancang telah bekerja dengan baik pada frekuensi 10925 MHz dengan nilai *return loss* ≤ -10 dB, $VSWR \leq 2$ dan mendekati impedansi ideal yaitu $50 \pm j0\Omega$. Selanjutnya dilakukan perbandingan hasil simulasi dan pengukuran yang telah dilakukan untuk melihat ketepatan dari desain antenna yang diusulkan. Gambar 10 menunjukkan perbandingan antara hasil simulasi dan pengukuran terhadap parameter *return loss*.

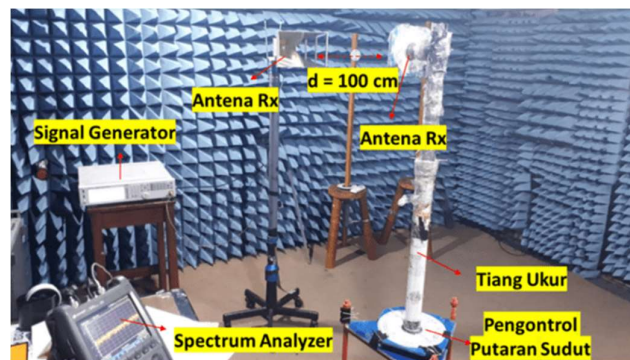


Gambar 10. Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran

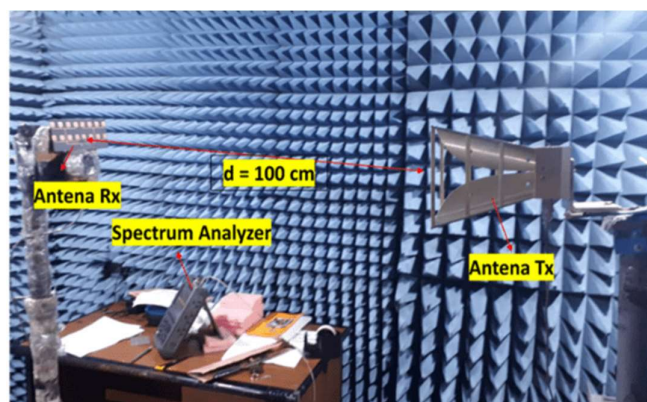
Gambar 10 menunjukkan bahwa antena yang diusulkan mengalami penyempitan *bandwidth* pada proses pengukuran jika dibandingkan dengan hasil yang didapatkan dari proses simulasi. Hal ini dikarenakan tingkat ketelitian pabrikan yang kurang baik sehingga menyebabkan terjadinya pergeseran frekuensi dan penyempitan *impedance bandwidth* (IBW). Namun secara keseluruhan antena masih bekerja pada rentangan frekuensi 10700 – 11600 MHz.

3.3 Pengukuran Pola Radiasi dan *Gain*

Pada penelitian ini pengukuran pola radiasi dan *gain* dilakukan di ruang *anechoic chamber* yang berada di Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) di Bandung. Pengukuran pola radiasi dilakukan dengan menghubungkan antena rancangan yang terpasang di tiang ukur dengan *signal generator* yang di atur bekerja pada frekuensi 10.9 GHz dan daya pancar 0 dBm. Antena yang dirancang di posisikan sebagai antena penerima (Rx) dan antena pembanding tipikal *horn* digunakan sebagai pemancar (Tx). Antena pembanding memiliki *gain* sebesar 12 dB dan terpasang di tiang ukur. Jarak antara antena pembanding dan antena rancangan adalah 100 cm. Pola radiasi bidang E (elektrik) dari antena diukur dengan memutar antena secara *vertical* dari sudut 0 - 360° sedangkan pola radiasi bidang H (magnet) diukur dengan memutar antena secara *horizontal* dari sudut 0 - 180°. Konfigurasi pengukuran pola radiasi ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12.



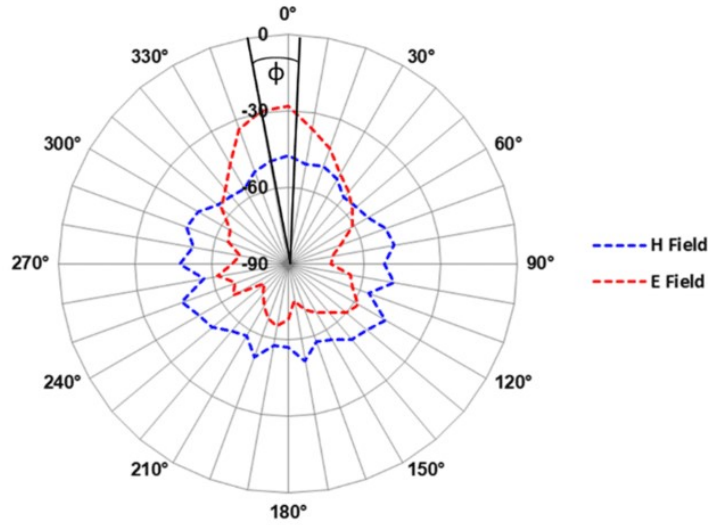
Gambar 11. Konfigurasi Pengukuran Pola Radiasi



Gambar 12. Penempatan Antena Tx dan Antena Rx

Hasil pengukuran level penerimaan sinyal dari kedua antena pada bidang E dan H yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 13. Batas lebar sudut berkas pancaran (ϕ) diamati pada perpotongan nilai level penerimaan – 30 dB. Pola radiasi bidang *vertical* dan *horizontal* dari

kedua antenna yang diusulkan pada ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Pola Radiasi Antena Array 8x2 Elemen

Gambar 13 menunjukkan pola pancaran antenna pada bidang *vertical* (*E-Field*) dan *horizontal* (*H-Field*) yang diamati dari sudut 0-360° menggunakan alat ukur *spectrum analyzer* pada frekuensi kerja 10925 MHz. Pola pancar dari antenna yang diusulkan bersifat ke satu arah (*directional*) dengan level penerimaan sinyal terendah pada -78 dBm. Lebar sudut berkas pancaran dari antenna yang dirancang adalah 12°. *Gain* dari antenna yang diusulkan (G_{Ant}) didapatkan dengan membandingkan level penerimaan sinyal dari antenna yang dirancang pada saat diposisikan sebagai antenna pemancar (P_{Tx}) dan penerima (P_{Rx}) lalu di tambahkan dengan *gain* dari antenna pembanding (G_{Ap}) yang digunakan pada saat proses pengukuran seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (1). *Gain* antenna pembanding yang digunakan dalam pengukuran adalah 12 dB pada frekuensi 10925 MHz.

$$G_{Ant} \text{ (dB)} = P_{Tx} \text{ (dBm)} - P_{Rx} \text{ (dBm)} + G_{Ap} \text{ (dB)} \quad (1)$$

Hasil pengukuran level penerimaan sinyal dari kedua antenna yang diusulkan yang dilakukan di ruang *anechoic chamber* pada frekuensi 10925 MHz dan daya pancar 0 dBm ditunjukkan pada Tabel 5. Perbandingan peningkatan *gain* dari kedua permodelan antenna ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 5. Level Penerimaan Sinyal dari Antena yang Diusulkan

Model Antena	P_{Tx} (dBm)	P_{Rx} (dBm)	G_{Ap} (dB)	G_{Ant} (dB)
Array 8x2 Elemen	-43.8	-47.4	12	15.6

Tabel 6. Perbandingan Gain dari Keseluruhan Model Antena

Gain	G_{Ant} (dB)
Array 8x2 Elemen	15.6
Array 4x2 Elemen	10.56

Tabel 5 menunjukkan bahwa antena dengan metode *array* 8x2 elemen memiliki penguatan yang lebih baik dari metode *array* 4x2 elemen yaitu 15.6 dB. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa penambahan elemen pada antena dengan model 8x2 telah berhasil meningkatkan gain dari antena yang telah di desain sebelumnya dengan metode *array* 4x2 elemen sampai dengan 47.16 % seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dilakukan pengembangan terhadap antena mikrostrip yang telah dirancang sebelumnya dengan menambahkan jumlah elemen pada metode *array* menjadi 16 elemen. Tahapan optimasi dilakukan dengan menggunakan permodelan *planar array* 8x2 elemen. Tujuan dari penambahan elemen pada metode *array* adalah untuk meningkatkan nilai *gain* dari antena yang dirancang. Dari hasil pengukuran diperoleh nilai *return loss* -22.77 dB dan VSWR sebesar 1.156. *Bandwidth* yang dihasilkan dari antena *array* 8x2 elemen adalah 900 MHz dengan rentang frekuensi kerja 10700 MHz – 11600 MHz serta impedansi sebesar $55.87 + j 4.97 \Omega$ pada frekuensi kerja 10925 GHz. *Gain* dari antena *array* 8x2 elemen adalah 15.6 dB pada frekuensi kerja 10925 MHz dengan lebar sudut berkas pancar 12° . Optimasi dengan metode *array* 8x2 elemen berhasil meningkatkan Gain sampai dengan 47.76 % dibandingkan dengan desain *array* 4x2 element. Antena yang diusulkan cocok dijadikan kandidat untuk digunakan pada sistem komunikasi radio gelombang mikro.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Lembaga Penelitian Universitas Trisakti yang telah membiayai penelitian ini melalui Hibah Internal tahun akademik 2019/2020

DAFTAR RUJUKAN

- Alam, S., Surjati, I., Ningsih, Y. K., Sari, L., Syukriati, E., & Safitri, A. (2019). Design of Truncated Microstrip Antenna with Array 4x2 for Microwave Radio Communication. *2019 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA)*, (pp. 1-4). Bali: Universitas Indonesia.
- Asaadi, M., & Sebak, A. (2017). Gain and Bandwidth Enhancement of 2x2 Square Dense Dielectric Patch Antenna Array Using a Holey Superstrate. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 1-1.
- Bakhtiari, A., Sadeghzadeh, R. A., & Moghadasi, M. N. . (2018). Gain Enhanced Miniaturized Microstrip Patch Antenna Using Metamaterial Superstrates. *IETE Journal of Research*, 635-640.
- Chen, Q., Zhang, H., Shao, Y. J., & Zhong, T. (2018). Bandwidth and Gain Improvement of an L-Shaped Slot Antenna With Metamaterial Loading. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 17(8), 1441-1415.

- Ding, K., Gao, C., Yu, T., Qu, D., & Zhang, B. (2017). Gain-Improved Broadband Circularly Polarized Antenna Array With Parasitic Patches. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, *16*, 1468–1471.
- Fang, D. G. (2017). *Microstrip Patch Antennas, "Antenna Theory and Microstrip Antennas"*.
- González, S. R. M., & Márquez, R. T. R. (2019). 12–18 GHz Microwave Frequency Band Microstrip Patch Antenna Design for the Radio Implant Medical Devices Application. *Telematics and Computing*, *110-120*.
- Gotra, S., Hashim, Z., Pani, S., Tripathy, M. R., & Banwari, A. (2016). C-band microstrip patch linear array antenna for microwave radio relay. *CSI Transactions on ICT*, *4(2)*, 151-156.
- Hasyim, A. (2016). Planning and analysis of the reliability of line of sight microwave radio communication system on 12750-13250 MHz band. *Buletin Pos dan Telekomunikasi*, *14(2)*, 147-160.
- Lee, K. F., Luk, K. M., & Lai, H. W. . (2017). *Microstrip Patch Antennas*.
- Miguel-Hernández, J. D. , Hoyland, R. J. . (2019). Fundamentals of horn antennas with low cross-polarization levels for radioastronomy and satellite communications. *Journal of Instrumentation*, *14(2)*, R08001–R08001.
- Ranjan, P. , Sur, S. , Pandey, V.K. (2019). Multiple Mode Resonator Based Triple Band Filter for WLAN, Intelligent Transportation System, Satellite Communication and X-Band Applications. *2019 9th Annual Information Technology, Electromechanical Engineering and Microelectronics Conference (IEMECON)* (pp. 1-4). Delhi: University of Engineering & Management.
- Santiko, A. B., Paramayudha, K., Wahyu, Y., & Wijanto, H. (2016). Design and realization multi layer parasitic for gain enhancement of microstrip patch antenna. *International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)* (pp. 1-4). Bali: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Surjati, I., Alam, S., Sari, L., Ningsih, Y. K., Syukriati, E., & Safitri, A. (2019). Circular Polarization Microstrip Antenna Array 1×2 For Microwave Radio Communication. *IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT)* (pp. 1-4). Makassar: Universitas Hasanudin.
- System, R. F. (2020). <http://www2.rfsworld.com>. Diambil kembali dari http://www2.rfsworld.com/RFS_Edition4/pdfs/Microwave_Solid_Antennas_267-322.pdf

Zhao, X., Huang, Y., Li, J., Zhang, Q., & Wen, G. (2017). Wideband high gain circularly polarized UHF RFID reader microstrip antenna and array. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 77, 76–81.